

## DER TAGESGANG DER LUFTTEMPERATUR EINER DOLINE IM BÜKK-GEBIRGE

von

R. WAGNER

In den Jahren 1953–55 haben wir mehrere Wochen lang (Mai, Juli, August 1953, Mai, Juni, Juli, August 1954, Juli, August, September 1955) Mikroklimateuntersuchungen auf der Karsthochebene des BÜKK-GEBIRGES im Gebiet von HOSSZÚRÉT (anders HOSSZÚMEZŐ genannt) und HOSSZÚBÉRC in der Fortsetzung des LUSTA-TALES durchgeführt. Diese Untersuchungen sollen als Teil der von Bálint Zólyomi organisierten komplexen Untersuchungen angesehen werden; darum war unser Ziel, die Eigentümlichkeiten des charakteristischen Mikroklimaraumes des W – E gelegenen Grates HOSSZÚBÉRC zu erforschen. Deshalb schnitten wir den Berg und teils den HOSSZÚBÉRC mit unseren Messinstrumenten in N – S Richtung.

### Das Mikroklima der Umgebung der Doline

Auf Grund unserer Messergebnisse haben wir eine Landkartenskizze von den verschiedenen Mikroklimaräumen von HOSSZÚBÉRC und HOSSZÚRÉT zusammengestellt. Bei der Verfertigung der Skizze haben wir durchweg die biözönologischen Aufnahmen von Bálint Zólyomi und Mitarbeitern gebraucht, weil es uns die Möglichkeit gab, die Ergebnisse unseres mikroklimatologischen Querschnitts auch geländemässig befriedigend darzustellen.

Hauptsächlich auf Grund unserer Untersuchungsergebnisse im BÜKK-GEBIRGE haben wir es versucht, die Mikroklimaräume zu klassifizieren. So haben wir die folgenden selbständigen Mikroklimaräume erster Grösse auf dem HOSSZÚBÉRC unterschieden:

- A. Das offene Gelände der Dolinenreihe
- B. Der Buchenwald des Nordhanges
- C. Der mit Linden und Eschen bedeckter Gipfel
- D. Der Buchenwald des Südhanges

Pflanzenwelt: A = Festucetum ovinae; Nardetum, B = Fagetum silvaticae-Typ Asperula, C = Tilio Fraxinetum, D = Fagetum silvaticae-Typ Melica uniflora, E = Fagetum silvaticae-Typ Carex pilosa. a = Festucetum ovinae, b = Fagetum silvaticae-Typ Mercurialis Aegopodium.

E. Der Buchenwald auf dem Südhang von NAGYKÖRIS (ein Berg parallel mit dem HOSSZÜBÉRC).

Innerhalb dieser Mikroklimaräume erster Grösse sind die Substratsverhältnisse, die orografischen, morphologischen und Strahlungsverhältnisse beinahe gleich. Die Mikroklimata der Gelände erster Grössenordnung sind verschieden und an den Grenzzonen befinden sie sich in Wechselwirkung und ergeben Mischklimata. Solche sind:

a = Die moosige Abart der Bergwiese zwischen A und B

b = Der Buchenwald mit Bengelkraut zwischen B und C

c = zwischen C und D

e = zwischen A und E

Die Mikroklimata bzw. Mikroklimaräume dritter Grössenordnung sind kleinere Gelände innerhalb derjenigen erster Grösse mit verschiedenem Substrat oder verschiedener Exposition. So ist auch das Gelände der Doline A<sub>3</sub>.

Auf dem Photo, das das Untersuchungsgebiet zeigt, sind die einzelnen Mikroklimaräume mit entsprechenden Buchstaben bezeichnet. (Bild 1.)

Wir haben schon die charakteristischsten Züge der einzelnen Mikroklimata beschrieben. Hier charakterisieren wir sie nur in wenigen Worten.

Im Dolinengelände sind die Tagestemperaturschwankungen gross. Bei Tage erwärmt sich die Luft beträchtlich, in heiteren Nächten sinkt die Temperatur bis auf einige Grade nahe dem Gefrierpunkt. Auf Grund der bisherigen Untersuchungen kann sogar festgestellt werden, dass Bodenfröste auch in den Sommermonaten vorkommen können. Bei Tag ist die Luft verhältnismässig trocken; bei Nacht beträgt die Luftfeuchtigkeit 100% oder kommt diesem Wert nahe. An jedem heiteren Abend oder in jeder heiteren Nacht bildet sich Tau, und bodennahe bzw. bodenanliegende Nebel sind häufig.

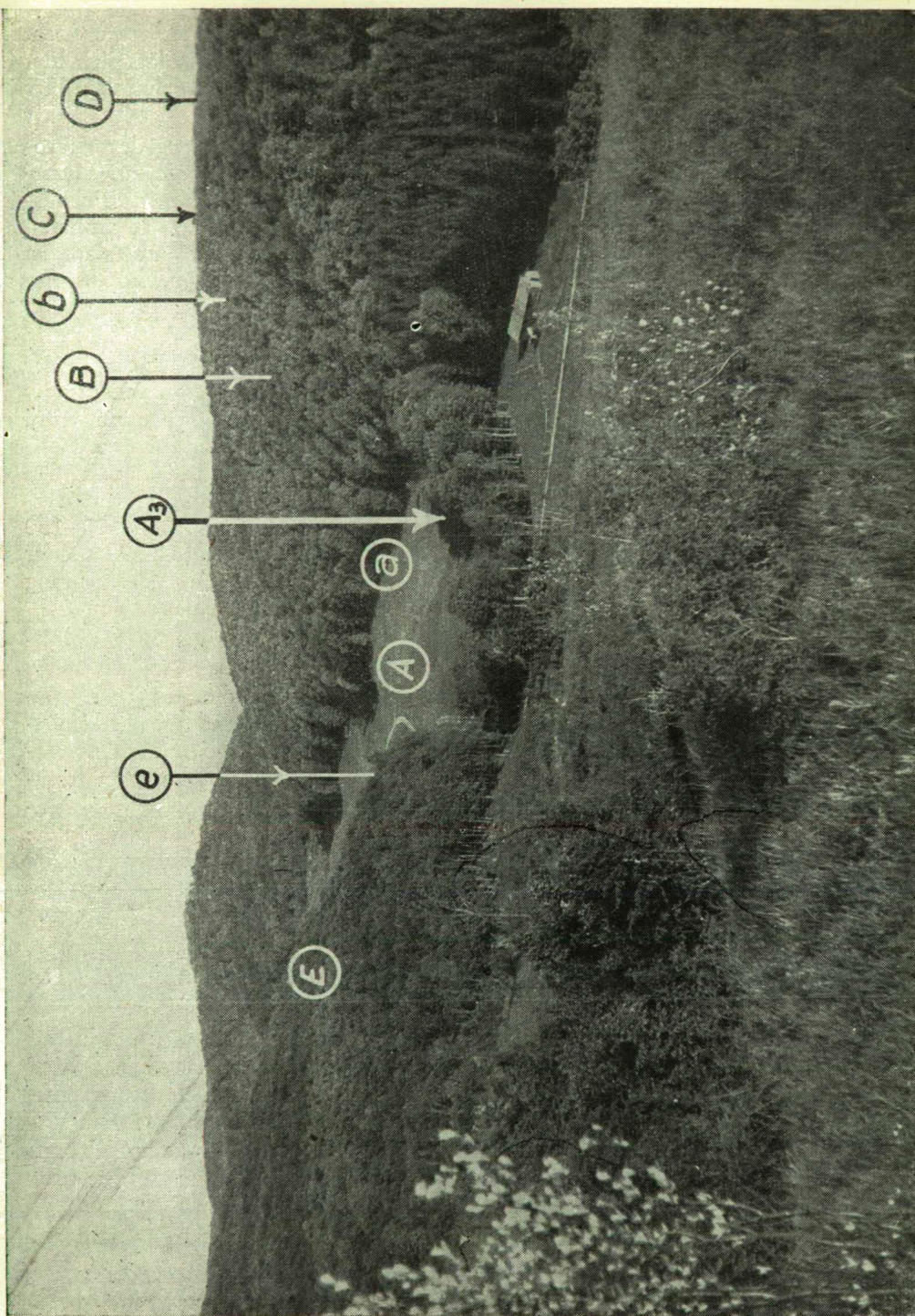
Im Buchenwald des Nordhangs ist die tägliche Temperaturschwankung gering: darum gibt es auch keine grosse Unterschiede im relativen Dampfgehalt der Luft.

Die tägliche Erwärmung des dünnen Linden-Eschen-Bestandes kommt besonders im Frühling wegen der späteren Entwicklung des Laubwerks der Dolinenreihe nahe, im Sommer aber bleibt sie einige Grade darunter. Bei Nacht ist dieser Bestand um mehrere Grade wärmer als das Dolinengelände, und die Temperatur bleibt (im Sommer) immer über dem Frierpunkt. Der Dampfgehalt der Luft ist verhältnismässig gering, was im Frühling wie auch im Sommer und im Herbst ein angenehmes Allgemeinbefinden versichert.

Im Buchenwald des Südhangs ist die nächtliche Abkühlung beinahe gleich der des Nordhangs; dagegen ist die tägliche Erwärmung vom Stand der Sonne abhängig stärker. Demgemäss ist auch der tägliche relative Dampfgehalt der Luft geringer.

Unter den Mischklimaten liegt die Grenzzone zwischen dem Dolinengelände und dem Buchenwald des Nordhangs, wo bei Tag und Nacht zwei Luft-

Bild 1. Mikroklimaräume von HOSSZÜBÉRC und HOSSZÚRÉC



massen mit engegegengesetzten Eigenschaften aufeinander wirken. Es entsteht hier eine *Mikroklimafront*, deren Wirkung sich darin offenbart, dass sich hier die moosige Abart der Bergwiese befindet und auch die meisten Schnecken hier vorkommen.

In den Jahren 1953–55 konnten wir uns mit der Erforschung des Mikroklimas der Doline nicht beschäftigen, weil wir unsere Instrumente zur Untersuchung von HOSSZÚRÉRC und HOSSZÚMEZŐ gebrauchten. Aus einigen Stichprobenmessungen und aus visuellen Beobachtungen bekamen wir mehrere Anhaltspunkte betreffs des eigenartigen Mikroklimas der Doline. Sehr interessant ist die früher unbekannte Erscheinung, die wir mit dem Namen „*fluktuierender Dolinen-Nebel*“ bezeichneten und die wir mit dem Rhythmus der Bildung und Auflösung von bodennahen Nebel zu erklären versuchten.

Mehrmals beobachteten wir nämlich, dass sich an heiteren Abenden in der Tiefe der Doline eine mehrere Meter dicke Nebelschicht bildet, die jenseits des Dolinenrandes am Grund des Dolinengeländes wenige Dezimeter dünn wird. Dann würde es 5–15 Minuten brauchen bis der Nebel, der sich auf dem Dolinengrund bildet, nach E bzw. NE auf cc. 40–100 m ausströmen kann. In den folgenden 5–8 Minuten zog sich der ausgeströmte Nebel zurück und verschwand. Dann folgte wieder eine Nebelausströmung die aber schon 100–150 m weit vordrang. Diese Fluktuation des Nebels wiederholte sich zwei oder dreimal, in einzelnen Fällen sogar mehrere Male. Diese eigenartige Erscheinung ist in Zusammenhang mit der Entstehung eines Kaltluftsees in der Doline.

Unsere Beobachtungen von 1953–55 waren aber zum Erkennen des Dolinenmikroklimas nicht genügend. Daher war es wünschenswert eine konzentrierte Untersuchung der Doline zu unternehmen. Unser Ziel war die Erwärmungs- und Abkühlungsverhältnisse der Doline zu untersuchen und dadurch ihre eigenartigen Mikroklimaverhältnisse zu ermitteln. Darum wählten wir als Untersuchungsgebiet die Doline auf HOSSZÚRÉT, die wir schon in früheren Untersuchungen beobachtet hatten. Daneben führten wir auch Radiationsminimumtemperaturbeobachtungen in der von Zólyomi und Bacsó untersuchten Doline von NAGYMEZŐ aus.

### **Das Netz und die Beobachtungsordnung der Untersuchungsstationen der Doline**

Um unsere Forschungen erfolgreicher zu machen, verfertigten wir auf Grund flüchtig bereiteter Niveauskizzen eine Karte mit Niveaulinien, deren Nullpunkt beim Wasserschlinger am Dolinengrund ist. Die Temperaturmessstationen wurden von hier ausgehend auf sechs Spurlinien aufgestellt. Die Widerstandsthermometer wurden gewöhnlich in 10 und 300 cm Höhe aufgehängt. So schlossen sich die je mit einem Niveauunterschied von 3 m aufgestellten Temperaturmessstationen treppenartig aneinander.

Auf den Linien I. und V. stellten wir je 3, auf der Linie III. 4 und auf den anderen Linien je 2 Stationen auf. Am Grund der Doline an Punkt 0 war eine Station mit 5 Thermometern. (Abb. 1.)



Eine Klimastation mit einem Niederschlagsschreiber wurde auf dem Grat zwischen den zwei Dolinen aufgestellt. In der Klimahütte waren ausser den gewöhnlichen Instrumenten ein Thermograph und ein Hygrograph. Ein Robitscher Strahlungsschreiber wurde am Fuss des NAGYKÖRIS so aufgestellt, dass er nur um Sonnenaufgang keiner direkten Strahlung ausgesetzt war.

Wir hatten Psychrometerstationen am nördlichen Waldrand, im Dolinengelände, am Grund der Dolinen, auf dem Grat zwischen den zwei Dolinen mit je zwei Psychrometern, von welchen der eine in 10, der andere in 150 cm auf-

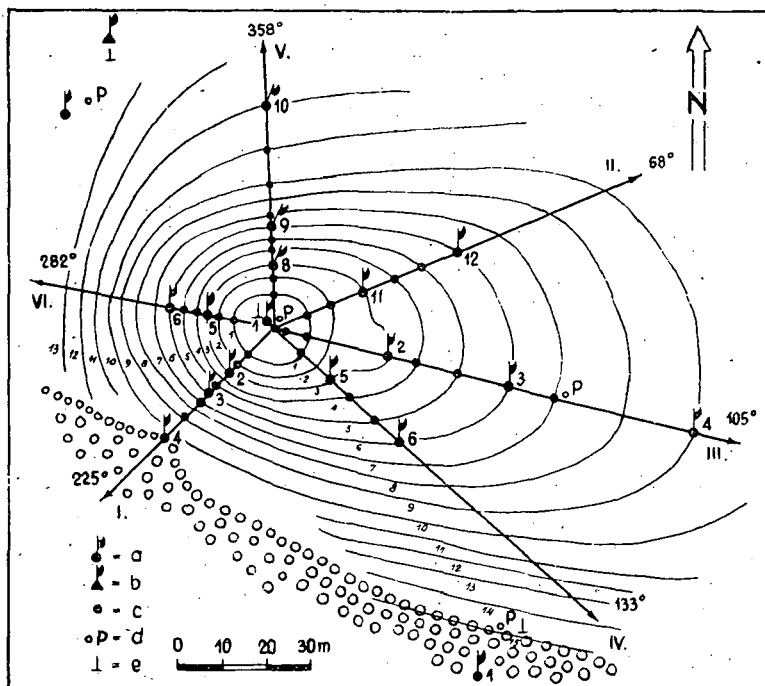


Abb. 1. Das Netz der Stationen. Zeichenerklärung: a) Thermometerstationen. b) Klimastationen. c) Radiationsthermometer. d) Psychrometerstationen. e) Bodenthermometer. Die eingekreisten römischen Ziffern bezeichnen die Spurlinien. Die arabischen Ziffern bei den Enden der Spurlinien bezeichnen die Himmelsrichtungen. Isohypsen = 1 m.

gestellt war. Bodenthermometer wurden (in 2, 5, 10, 15, und 20 cm) am Waldrand, am Grund der Dolinen und in der Nähe der Klimastation aufgestellt.

Ausserdem wurden mehr als 30 Radiationsminimumthermometer in 5 cm über dem Boden zur Bestimmung der nächtlichen Minima aufgestellt. Wir massen die Lufttemperatur mit rund 80 Thermometern, die Widerstandsthermometer hinzugegerechnet: doch können wir mit der Dichte des Netzes nicht zufrieden sein.

Mit den Widerstandsthermometern führten wir Beobachtungen jede 15 Minuten an zwei Zentralen (auf dem Grat zwischen den zwei Dolinen und am nördlichen Waldrand) aus. Ebenso jede 15 Minuten bestimmten wir die Windrichtung und die Windgeschwindigkeit und stellten sämtliche visuelle Beobachtungen an.

## Die Lufttemperaturverhältnisse der Doline bei Tag

Die Beobachtungen dauerten vom 11. bis zum 31. August 1959. Während dieser Zeit gab es Perioden mit verschiedenem Wetter; es gab völlig bewölkte Tage mit Regen, aber auch mehrere heitere Tage; der 22. und der 28. August waren sogar ganz wolkenlos. Es ist uns jetzt nicht möglich, die ganze Untersuchungsperiode zu behandeln. Darum überblickten wir nur kurz die Erwärmungs- und Abkühlungsverhältnisse der Dolinen, und zwar hauptsächlich im Spiegel der Temperaturangaben des 22. August. Wir wählten diesen Tag nicht weil nach den Angaben der Klimastation, also zu den Terminzeitpunkten der Himmel wolkenlos war, sondern weil wir nach den jede 15 Minuten gemessenen Beobachtungsangaben bei Tag eine Bewölkung von höchstens 0,1–0,3 Cu feststellten und nach dem Strahlungsschreiber der Sonnenschein fast ganz ungestört war. Was die Windverhältnisse betrifft, wechseln sich windstille Nächte und windige Tag ab. Bei Tage beobachteten wir Luftströmungen verschiedener Stärke von 9<sup>h</sup> bis 17<sup>h</sup>. Bei bewölktem Wetter war die tägliche Windstille häufiger als bei heiterem. Zwar wehte der Wind (besonders S- und SE-Wind) auch am 22., war das Wetter im Vergleich mit den anderen heiteren Tagen günstiger.

Bei der Auswahl dieses Tages nahmen wir auch in Betracht, dass es in den Nachtstunden zwischen 0<sup>h</sup> und 24<sup>h</sup> keine dauernde Bodennebelbildung gab.

Die Doline als eigenartige morphologische Formation lässt auf den territorialen Charakter der Erwärmungsverhältnisse schließen. Die verschiedene Exposition ihrer verschiedenen Teile gibt schon einen Anhaltspunkt, was den Ort der territorialen Temperaturmaxima betrifft. Wir rechneten den Einfallswinkel der Sonnenstrahlen an unseren Mikroklimastationen für runde Stunden aus und nahmen diese Ergebnisse beim Ziehen der Isothermen in Betracht.

Die Angaben des Dolinengrundes geben zugleich den Einfallswinkel der Sonnenstrahlen auf waagerechter Fläche an. An einzelnen Stationen – von ihrer Exposition abhängig – kamen noch höhere oder niedrigere Werte vor.

Wir beobachteten stundenweise auch die Schattengrenzen, deren Gang in Abb. 2 erkennbar ist. Der Schatten wurde vom Wald oder von der Doline selbst geworfen.

Die Zeitpunkte der Beschattung der einzelnen Mikroklimastationen wurden nicht aus Rechnungen, sondern durch Beobachtungen im Gelände festgestellt. Der Waldrand geriet am frühesten in Schatten von 8<sup>m</sup>30' ab (Station I. 4.). Die Zeitpunkte der Beschattung unserer Beobachtungsstationen waren: 12<sup>h</sup>=I. 3; 12<sup>h</sup>45'=I. 2; VI. 6; 13<sup>h</sup>30'=VI. 5; 13<sup>h</sup>45'=I.; 14<sup>h</sup>30'=IV. 5; 14<sup>h</sup>45'=V. 8 und IV. 6; 15<sup>h</sup>15'=V. 9; V. 10, II. 11 und III. 2; 16<sup>h</sup>15'=II. 12 und III. 3; 17<sup>h</sup>=III. 4.

Auf der Linie V. südlicher Exposition erreichte der Einfallswinkel der Sonnenstrahlen den maximalen Wert 74° an Station 9, 71° an Station 8, um 12 Uhr mittags. Die Günstigkeit der südlichen Exposition machte sich nicht nur um Mittag bemerklich; mit Ausnahme der frühen Morgenstunden war der Einfallswinkel der Sonnenstrahlen von 7 Uhr ab höher als auf der waagerechten Fläche und von 9 Uhr bis zur Beschattung, dem Hangwinkel entsprechend, war der Mehrwert zwischen 10° und 20°. Zweifellos war dies der wärmste Hang. Dagegen waren die Einfallswinkel der Sonnenstrahlen immer niedriger (um

2–10°) auf der Linie IV. die annähernd den SE – Hang vertritt. Die aus der verschiedenen Exposition stammenden Unterschiede waren zwischen +8 und –6° auf dem ENE – Hang (Linie II.) und zwischen +4 und –8° auf dem ESE – Hang (Linie III.). Viel veränderlicher waren die Verhältnisse des SW –

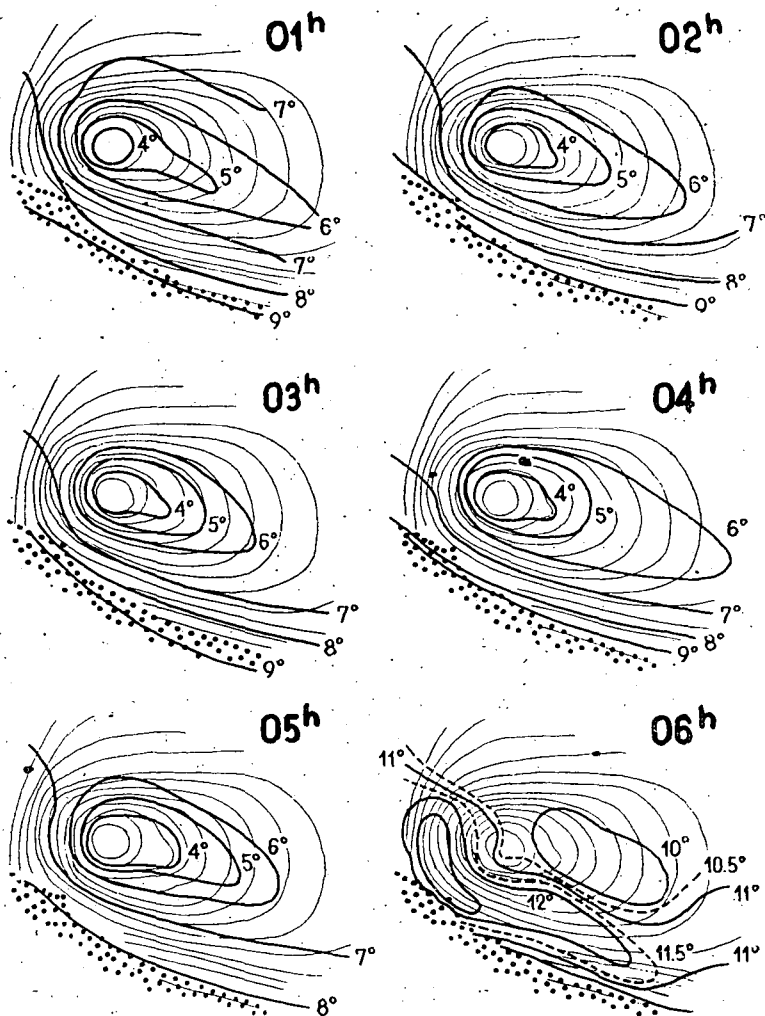


Abb. 2a. Temperaturverteilung in der Doline am 22. August 1959.

Hanges (Linie I.). Die grössten Unterschiede kamen hier frühmorgens vor (15° bis 16° um 6<sup>h</sup>); dagegen war die Sonnenstrahlung –3° schon um 10 Uhr; vor Beschattung überschritt sie –16°. Der WNW-Hang (Linie VI.) bekam die Strahlen frühmorgens auch unter einem bedeutend grösseren Winkel (20–22°), und nur vor Beschattung ging der Unterschied in einen negativen Wert über.

Wie wir es schon in früheren Untersuchungen mit Hilfe von Sonnenstrahlungsdauermessern nachgewiesen haben, fallen die Sonnenstrahlen im Sommer

erts auf den Nordhang des HOSSZÚBÉRC; der nördliche Waldrand bekommt also schon Sonnenschein wenn das Dolinengelände und die Dolinen darin noch im Schatten sind. Trotzdem dauert der Sonnenschein am Waldrand nur einige Stunden, de diese Zone bereits vor 9 Uhr beschattet wird. Ausserhalb dieser

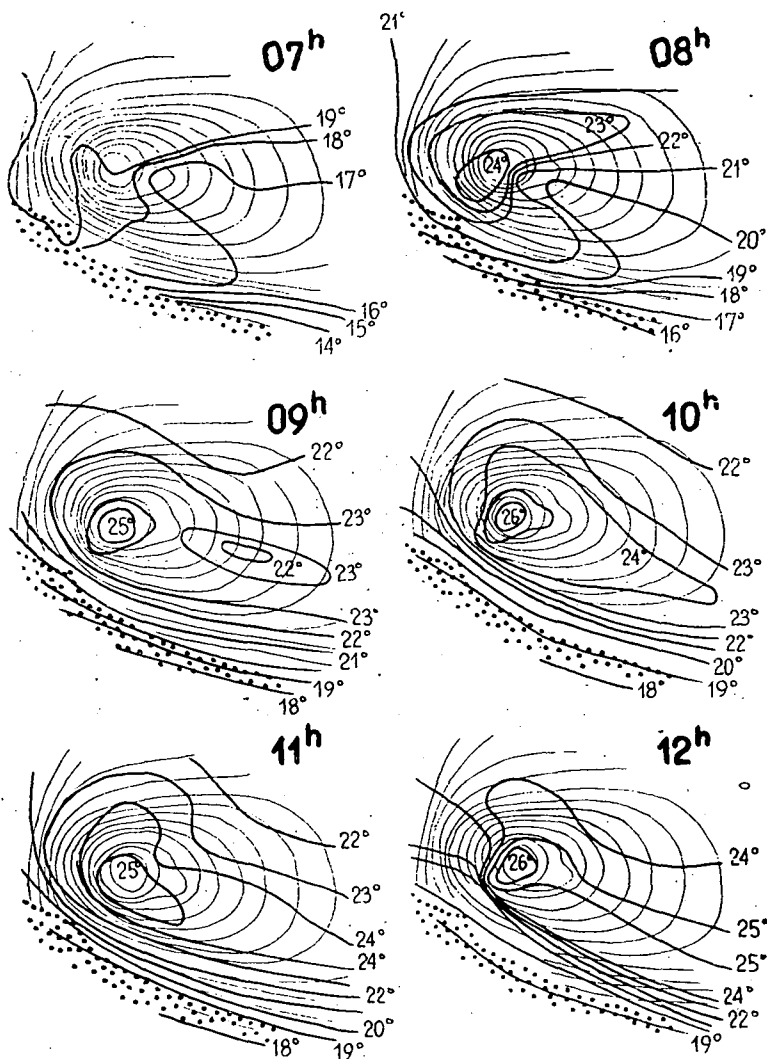


Abb. 2b. Temperaturverteilung in der Doline am 22. August 1959.

sich dem Wald anschliessenden Zone bekommen die nördlich und westlich exponierten Hänge Sonnenstrahlung während 6–8 Stunden, der Dolinengrund cca. 9 Stunden, die südlich und nordwestlich exponierten Hänge 10, die Hänge südwest-westlich und west-nordwestlich exponierten Hänge 11 Stunden. Alle die Gebiete, die um 14 Uhr noch Sonnenstrahlung bekamen, erreichten ihre Temperaturmaxima zu dieser oder beinahe dieser Zeit.



Das Maximum der Temperatur erfolgte am frühesten natürlich am Wald-  
rand, um 7<sup>h</sup>30<sup>m</sup> (25,6°), in 10 cm über dem Boden des Ostexponierten Hanges  
um 8<sup>h</sup>15<sup>m</sup>. Auf dem nördlich exponierten Hang erfolgte das Temperaturmaxi-  
mum um 11<sup>h</sup>15<sup>m</sup> und zur gleichen Zeit auf dem östlich exponierten Hang in 3 m

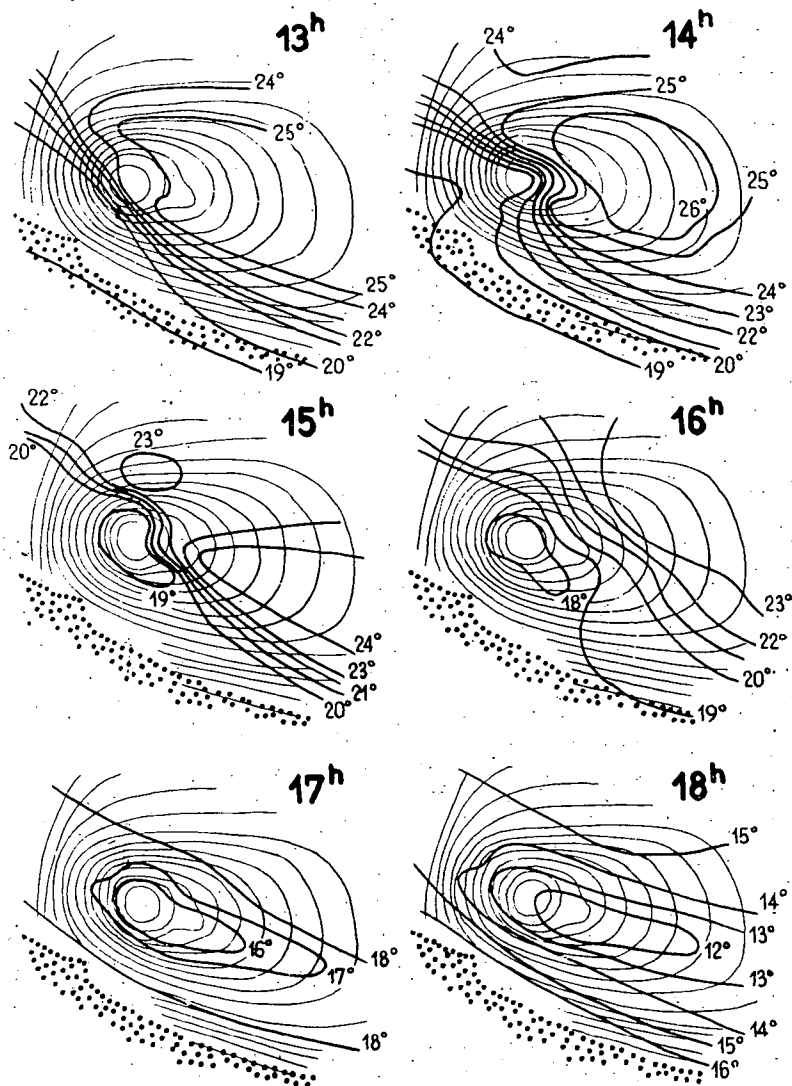


Abb. 2c. Temperaturverteilung in der Doline am 22. August 1959.

Höhe, was auf die Wechselwirkung der beiden Hänge hinweist. Am Dolinen-  
grund erfolgt das Maximum um 12<sup>h</sup> wenn der Einfallswinkel der Sonnenstrah-  
len am grössten ist.

Wir haben versucht, die Temperaturverteilung in der Doline auf Grund  
unserer Beobachtungsangaben vom 22. Aug. 1959 stundenweise durch Isother-

men darzustellen. Beim Ziehen der Linie haben wir die jeweilige Schattengrenze, die Einfallswinkel der Sonnenstrahlen und die Niveaulinien selbst in Betracht genommen. Wir haben auch die mit Psychrometern angestellten Temperaturbeobachtungen und auch andere Beobachtungsangaben benutzt. Das wich-

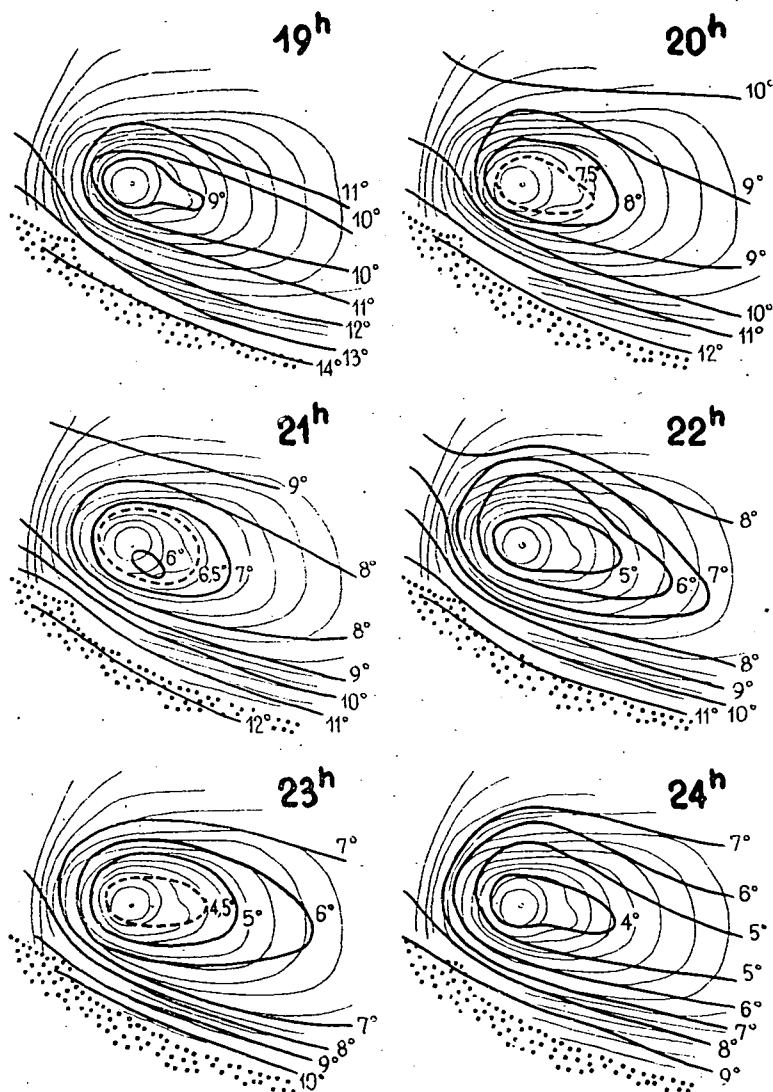


Abb. 2d. Temperaturverteilung in der Doline am 22. August 1959.

tigste Material für die Isothermenkarten lieferten natürlich die Temperaturangaben. Wir denken, dass wir so der Wahrheit nahestehende Skizzen in Abb. 2 zeigen können. Die Isothermen zeigen die Temperaturverteilung in 10 cm über dem Boden. In dieser Skizzenreihe zeigt der Zustand um 5<sup>h</sup> die Verhält-

nisse unmittelbar vor Sonnenaufgang. Um 6<sup>h</sup>, nach Sonnenstrahlung während einer Stunde, tritt im allgemeinen eine Erwärmung von 5–6° in Erscheinung. Das Temperaturmaximum findet der Exposition entsprechend auf den SW- und S-Hängen der Doline statt. Der kühlsste Ort mit einem Wert unter 10° befindet sich in der Achse der Doline.

Dies erfolgte nicht nur weil dieses Gelände auch um 6<sup>h</sup> nur eine Strahlung von 3–5° bekam, sondern auch weil die bekommene thermische Energie zur Verdunstung des reichlichen Nachtaus verbraucht wurde. Dieselben Gründe erklären wahrscheinlich die Einbuchtung der Isothermen gegen die Doline um 7<sup>h</sup> und 8<sup>h</sup>, aber auch um 9<sup>h</sup> ist die kühlere Insel nahe dem Boden auf der Linie III. erkennbar. Während sich der Grund an anderen Orten der Doline bis

TABELLE I.

Windrichtung und Windgeschwindigkeit auf Hosszúrét am 22. Aug. 1959.

1.					2.				
Zeit	Richtung	km/St.	Richtung	km/St.	Zeit	Richtung	km/St.	Richtung	km/St.
Absolute Windstille bei Nacht									
4.00	NE	6,1	C	0	11.00	SE	13,4	E	3,4
15	NE	5,8	C	0	15	SE	6,4	E	4,0
30	NE	5,2	C	0	30	S	14,0	E	6,4
45	NE	4,0	C	0	45	S	7,0	C	0
5.00	C	0	C	0	12.00	S	8,2	E	3,4
15	C	0	C	0	15	S	7,0	E	7,6
30	C	0	C	0	30	C	0	C	0
45	C	0	C	0	45	S	4,0	E	7,0
6.00	C	0	C	0	13.00	E	7,6	E	7,0
15	C	0	C	0	15	W	6,4	SW	4,0
30	C	0	E	4,0	30	S	5,8	SW	5,8
45	C	0	C	0	45	S	9,4	SW	4,7
7.00	C	0	C	0	14.00	C	0	C	0
15	C	0	E	4,6	15	C	0	S	6,1
30	C	0	C	0	30	C	0	S	4,5
45	C	0	C	0	45	C	0	C	0
8.00	SE	8,2	C	0	15.00	C	0	SW	5,8
15	SE	6,4	C	0	15	SSW	4,0	S	5,0
30	SE	7,0	C	0	30	SSW	3,4	C	0
45	SE	8,2	C	0	45	C	0	C	0
9.00	S	7,6	C	0	16.00	C	0	C	0
15	S	8,2	C	0	15	C	0	SE	3,5
30	SE	10,6	E	5,2	30	SSW	5,8	C	0
45	SE	12,8	C	0	Windstille nach 16 <sup>h</sup> 30m				
10.00	SE	8,8	E	5,2					
15	SE	7,6	C	0					
30	SE	8,2	E	3,4					
45	SE	15,6	C	0					

1. Windmesser an der Station.

2. Windmesser 15 m nördlich von der Psychrometerstation am Waldrand.

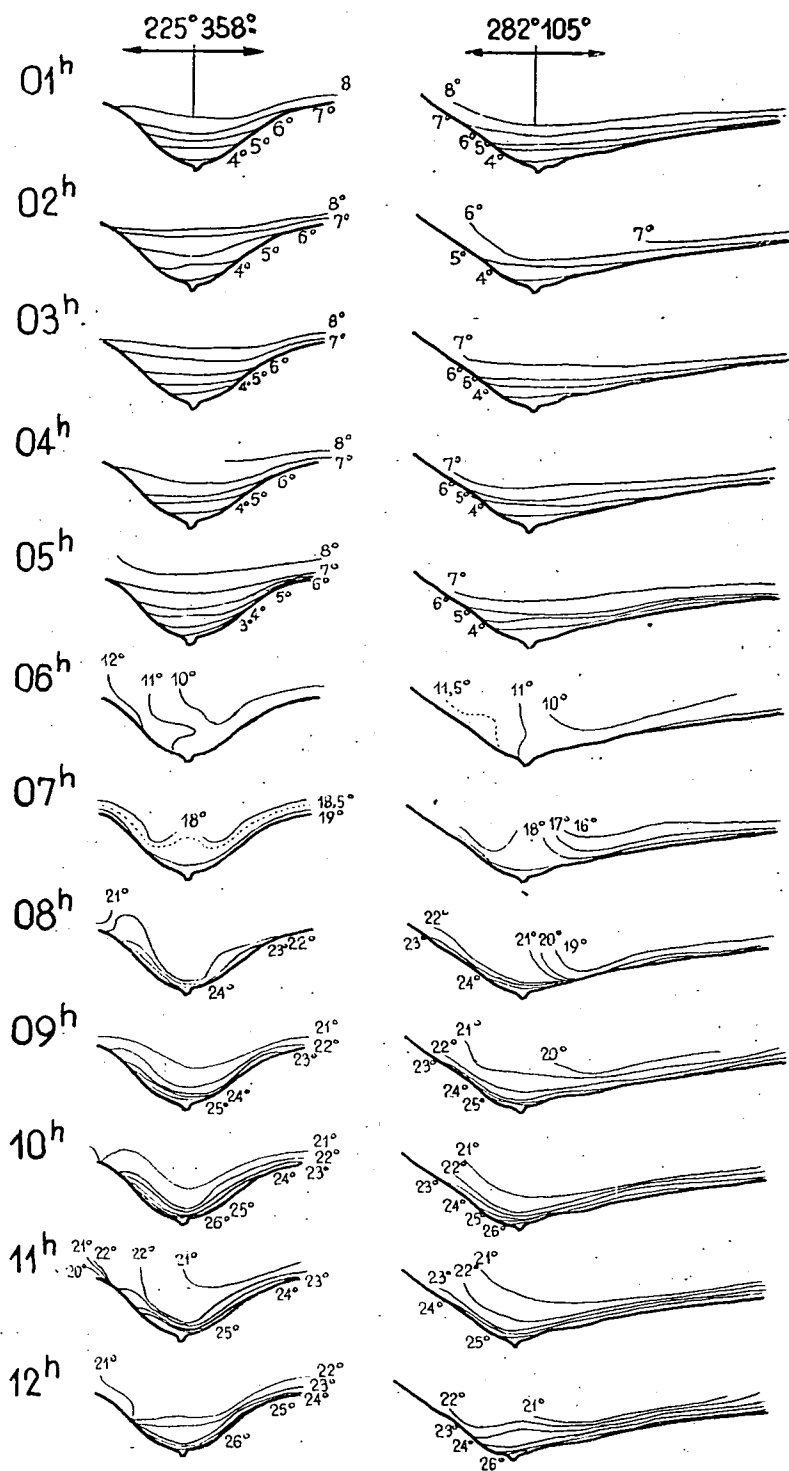


Abb. 3a. Die vertikale Temperaturverteilung am 22. August 1959.

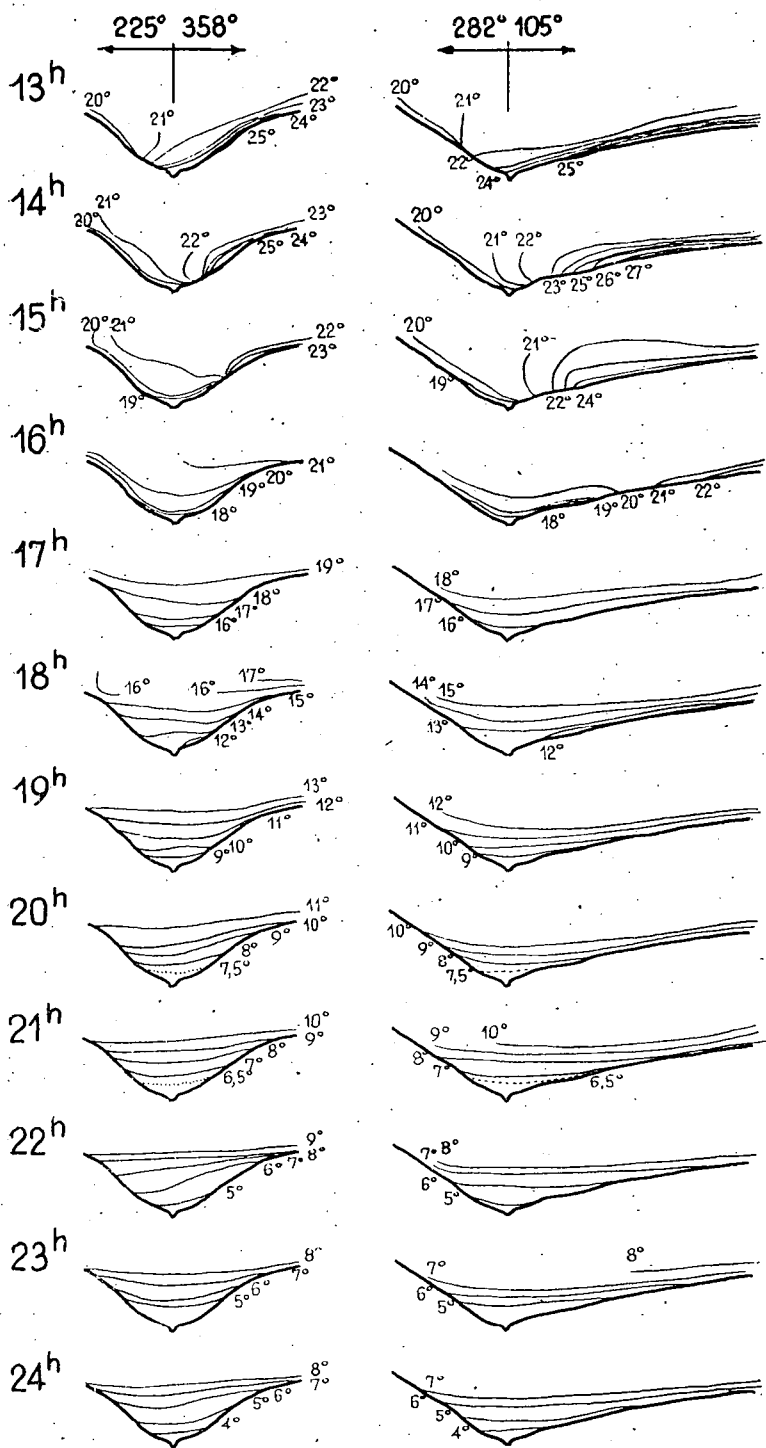


Abb. 3b. Die vertikale Temperaturverteilung am 22. August 1959.

8<sup>h</sup>30<sup>m</sup> trocknete, verdunstete der Tau ganz im Dolinengelände nur nach 9<sup>h</sup>30<sup>m</sup>. Man kann annehmen, dass die Menge des Taus im vorwiegend mit Borstengras (*NARDUS STRICTA*) bedeckten Gelände grösser war. Da wir aber diesbezüglich keine konkreten Untersuchungen anstellen konnten, müssen wir auf eine andere



Bild 2. HOSSZÚRÉT. Die hellen Teile sind mit *Nardus stricta* bewachsene Flächen

zweifellose Ursache, nämlich auf die Luftströmung hinweisen. Aus der Tabelle I. ist es ersichtlich, dass es (nach den Angaben des Windmessers in der Nähe der Klimastation) eine südliche Luftströmung herrschte und das Dolinengelände in der Lee war, bzw. leichten östlichen Wind bekam. Das Temperaturmaximum findet an der südlich exponierten Wand der Doline um 7<sup>h</sup> statt, aber auch der südlich exponierte Hang geriet in den Vordergrund. Um 8<sup>h</sup> steigt die Temperatur auch am Dolinengrund plötzlich an und die Wärme häuft sich auf dem SW-Hang, und die NW- und N-Seitenwände der Doline erwärmen sich dem Stand der Sonne entsprechend auch mehr. Der Kern des Temperaturmaximums kann zwischen 9<sup>h</sup>–12<sup>h</sup> am Dolinengrund gefunden werden, doch auf dem südlich exponierten Hang gibt es immer eine Ausbuchtung im Verlauf der Isothermen. In diesen Stunden kann auch gut beobachtet werden, wie sich die Isothermen gegen den jetzt verhältnismässig schon kühlen Wald verdicken. In der Gestaltung dieses Bildes spielt nicht nur die allmähliche Erwärmung des Dolinengeländes, sondern auch das Schattenwerfen des Waldes eine Rolle. Die Erwärmung der um 9<sup>h</sup> verhältnismässig noch kühleren Dolinenreihenachse ist charakteristisch. Um 10<sup>h</sup> verschiebt sich der 24°-Isotherme nach Süden (Nordhang), um 11<sup>h</sup> wird sie breiter, und um 12<sup>h</sup> durchquert auch die 25°-Isotherme die Dolinenreihe. Es kann uns nicht überraschen, dass sich die Achse der Erwärmung des Dolinengeländes immer auf die vorwiegend mit *Nardus stricta* bedeckten Gelände konzentriert.

In den Karten von 13<sup>h</sup>–16<sup>h</sup> sehen wir im Verlauf der Isothermen den Vordrang des Schattens von SW und W her.

An den Schatteneffekten verdicken sich die Isothermen und grosse Temperaturunterschiede entstehen innerhalb weniger Meter. Dies kann man auch in den Skizzen der Abb. 3. gut sehen. Die beobachteten grossen Unterschiede



(5–7°) sind auch von unseren Psychrometermessangaben bestätigt. Nach diesen Angaben betrugen die Temperaturunterschiede 4,8°–6,4°.

Auch die Isothermenkarten beweisen, dass das Temperaturmaximum, der Exposition entsprechend, nach Süden, bzw. auf die nach Westen zugewandten Hänge, versetzt wird. Diese Skizzen zeigen auch, dass nachdem der Dolinengrund beschattet ist, beginnt die Bildung des kalten Luftteiches der Doline. (15<sup>h</sup> und 16<sup>h</sup>).



Bild 3. Die Klimastation und ein Teil des Forschungslagers vom Osten gesehen

### **Die Lufttemperaturverhältnisse der Doline bei Nacht. Der Kaltluftsee**

Die Radiations-Temperaturminima des Frühmorgens gestalteten sich vom Nachtwetter abhängig. Während der dreiwöchigen Periode der Beobachtungen kamen regnerische Nächte (15–16; 16–17 August), vorwiegend bewölkte (12–13; 17–18), ganz wolkenlose (20–21; 21–22; 22–23; 23–24; 24–25; 27–28) und auch solche Nächte vor, während welcher die Wolkendecke des völlig bedeckten Himmels um 24<sup>h</sup> aufriss und nach 1 Uhr ganz klar wurde (29–30). Es kam auch vor, dass das ganze Untersuchungsfeld am Morgen in Wolken gehüllt war.

Es ist charakteristisch für die Temperaturminima der milden bewölkten, sowie der bewölkten und regnerischen Nächte, dass die in der Doline gemessenen Temperaturwerte nur ganz unbedeutende Unterschiede aufwiesen. Das

Minimum der Radiationstemperatur blieb über  $10^{\circ}\text{C}$ , der Unterschied der Temperaturminima des ganzen Feldes unter  $2^{\circ}$ . Der Unterschied zwischen den Radiationsminima in heiteren oder vorwiegend heiteren Nächten überschritt  $3,0^{\circ}\text{C}$  im ganzen Gelände.

In heiteren Nächten können die niedersten Lufttemperaturen an den am tiefsten liegenden Stellen des Geländes beobachtet werden, was den Gesetzen der Entstehung von Kaltluftseen entspricht. Die Anhäufung der Kaltluft findet wirklich am Dolinengrund, gewissermassen der Geländeoberfläche anliegend, statt.

Auf Grund der Frühmorgenbeobachtungsangaben der Radiationsthermometer haben wir Isothermenkarten zusammengestellt. [Abb. 4, 5, 6.] Beim Bereiten der Karten haben wir uns auch der Angaben der elektrischen Thermometer bedient. Auf Grund dieser Isothermenkarten haben wir die Temperaturverteilung in heiteren Nächten untersucht. (Es muss hier bemerkt werden, dass die Angaben der Radiationsthermometer nicht als gleichzeitig angesehen werden können.) Die Karten zeigen keinen einheitlichen Charakter, sondern infolge des Nachtwetters, verschiedene Bilder. Am auffälligsten ist, dass die Anhäufung der Kaltluft nicht immer am Dolinengrund, sondern auch auf dem Hang, und zwar überwiegend auf dem nord-exponierten Hang stattfindet. Die Ursache dieser Lage müssen wir mit dem in der Doline sich bildenden Bodennebel zu erklären suchen. In den Nächten nämlich, wenn es keine Bodennebelbildung gibt, liegt die kälteste Luftschicht in 5 cm über dem Boden, am Grund der Doline in der Richtung der Achse der Dolinenreihe nach Osten verschoben. Im allgemeinen ist das Temperaturminimum im Trog der Dolinenreihe immer niedriger als über anderen, sich im gleichen Niveau befindenden Geländepunkten. Dies ist gut ersichtlich aus dem Verlauf der Isothermen.

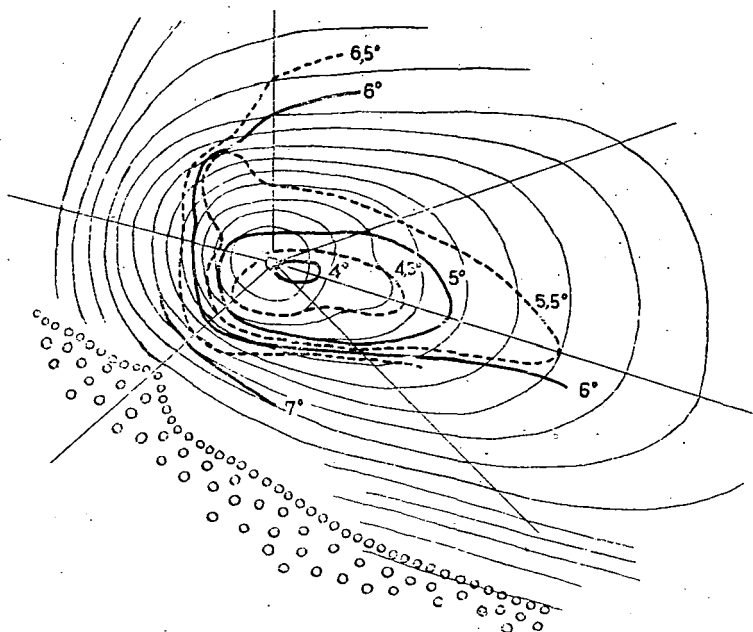


Abb. 4. Temperaturminima am 11. August 1959. Nach einer klaren Nacht.

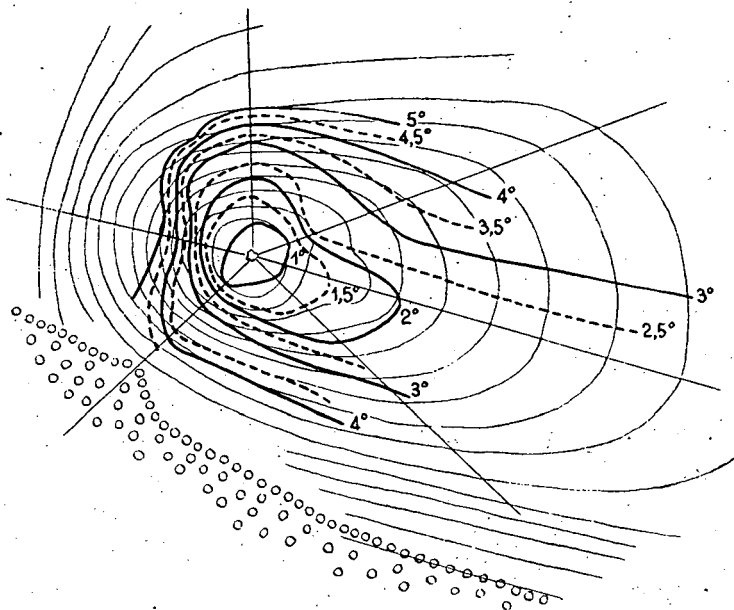


Abb. 5. Temperaturminima am 31. August 1959. Nach einer klaren Nacht.

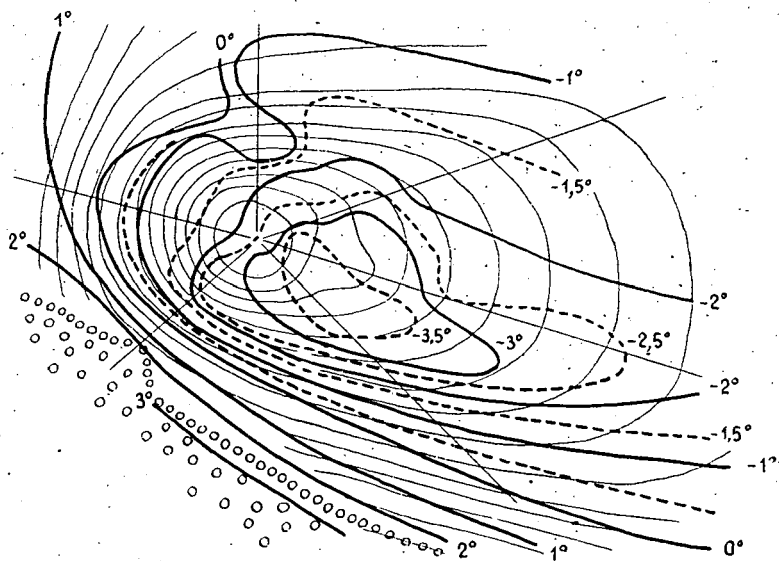


Abb. 6. Temperaturminima am 30. August 1959. Nach dickem nächtlichen Dolinnennebel.

Nachts, besonders in der zweiten Hälfte der Nacht, in der Doline, und bei im Dolinengelände entstandenen dauernden Bodennebel befindet sich die kälteste Luftmasse, nach den Angaben der Radiationstemperaturminima, südwärts von der Achse der Dolinenreihe (N-Exposition). Am klarsten tritt dies in Erscheinung in der auf Grund der Radiationstemperaturminima des 30. Aug. gezeichneten Karte. Die erste Hälfte der Nacht war bewölkt. Um 0<sup>h</sup>30<sup>m</sup> nahm die Bewölkung ab, dann ab 2<sup>h</sup>30<sup>m</sup> war der Himmel wolkenlos und in der Doline bildete sich dicker Bodennebel.

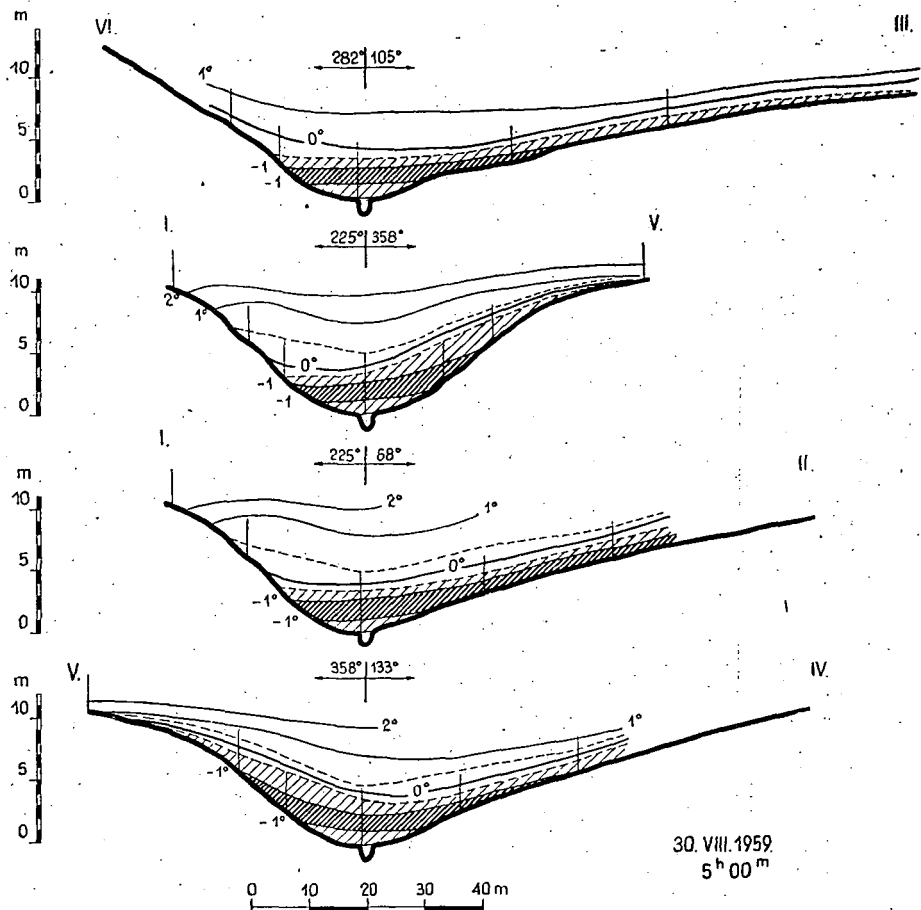
An keinem anderen Tag unserer Beobachtungsperiode kam es vor, dass der Dolinengrund um mehr als 1° wärmer war als die Luftschicht des Hangs. Ich muss aber auf unsere Beobachtungsangaben vom 10. Juli 1954 hinweisen, als wir in der Achse der Dolinenreihe mit den Radiationsthermometern, die vom 0-Punkt des Dolinengrundes auf dem 15 m Niveau errichtet waren, 3,5°C massen, während sich die Luft in der Doline nur auf -1,8°C abkühlte. Als eine Erklärung dafür nahmen wir an, dass die Abkühlung dort vom wesentlich dickeren Nebel ermässigt wurde im Gegensatz zum seichterem Nebel, der sich in der Nähe des anderen Radiationsthermometers bildete.

Unsere weiteren, ausführlicheren Untersuchungen im August 1959 bestätigten die Richtigkeit dieser Annahme. Das vertikale Profil der Temperaturwerte, die an der am Dolinengrund errichteten Station gemessen wurden, und die Änderungen dieses Profils lieferten die Bestätigung. An dieser Station waren die Thermometer in 10, 150, 300, 400 und 500 cm Höhe angebracht. Zwar hätten wir mit mehr Thermometern das vertikale Temperaturprofil wesentlich feiner machen können, ist es auch so leicht zu sehen, dass sich zur Zeit der Bildung dicken Dolinnennebels ein Luftzustand bildet, der der unteren Isotherme von einigen Metern nahe steht. Abb. 7 zeigt das Temperaturprofil jede 15 Minuten auf Grund unserer Beobachtungen frühmorgens und abends am 22. August. Die allmähliche Abkühlung der Nacht wurde vom zeitweise gebildeten Nebel gestört, doch fand die Anhäufung der Kaltluft am Dolinengrund statt. Also ermöglicht uns das vertikale Temperaturprofil, die Wirkung des in der Doline entstandenen Nebels zu beobachten. Aus den stündlichen Isothermenkarten allein (Abb. 2.) ist die Wirkung der zeitweiligen Nebelbildung nicht ersichtlich. In den Skizzen des Temperaturquerschnitts der Doline (Abb. 3.) kann die modifizierende Wirkung des in der Doline gebildeten Bodennebels auf die Isothermen teils schon erkannt werden. Dieses Bild ist aber auch nicht charakteristisch, weil für die Bildung und Auflösung des am 22. frühmorgens und abends entstandenen Dolinen-Bodennebels die Temperaturisothermen der runden Stunden gerade nicht charakteristisch sind.

Die Querschnitte des Wärmezustandes der Doline um 5<sup>h</sup> morgens am 30. August sind in der Abb. 7 dargestellt. Wir glauben, dass dieses Bild den Zustand, wenn unter dem Einfluss des dicken Dolinnennebels die territorialen Temperaturmaxima auf die Hänge versetzt werden, gut darstellt. Zwar ist die dicke bodennahe Nebelschicht der Doline mit dem an den Hängen gebildeten Nebel in ununterbrochener Verbindung, mildert diese seichte Nebelschicht die Abkühlung nicht, und die Ausstrahlung ist besonders bedeutend, wo die Pflanzendecke vorwiegend aus Borstengras besteht, das die Abkühlung noch intensiver macht.

## Der Einfluss der Vegetation auf die Lufttemperatur des Wasserschlingers

Während unserer Beobachtungsperiode fand die stärkste Abkühlung in der Doline am 28. August statt, als die bodennahe Luftschicht sich auf  $-3,5^{\circ}\text{C}$  abkühlte. Im grössten Teil des Dolinengeländes kühlte sich die Temperatur unter  $-2,0^{\circ}\text{C}$  ab.



30. VIII. 1959  
5<sup>h</sup> 00<sup>m</sup>

Abb. 7. Temperaturquerschnitte der Doline um 5 Uhr am 30. August 1959.

Es stellt sich auch die Frage, ob der Wasserschlinger die Erwärmungs- und besonders die Abkühlungsverhältnisse der Doline beeinflusst. Es lohnt sich, diese Frage zu studieren, denn der Wasserschlinger ist wesentlich ein Teil der Doline und seine Temperaturverhältnisse sind eigenartig.

Die Annahme, dass die Temperatur der Luft im Wasserschlinger mit den unterirdischen Höhlen in Verbindung steht und die Luft der Höhlen die Tem-



peratur der Luft im Wasserschlinger beeinflusst, stellt an uns die Aufgabe zu erwägen ob dies überhaupt irgend einen Einfluss auf die Luftschicht des Dolinengrundes ausübt. Um dieser Frage entscheiden zu können, müssen wir zuerst untersuchen, ob diese Annahme richtig ist.

Ein Beweis für die Verbindung mit unterirdischen Höhlen kann sein, dass die Temperatur der Luft im Wasserschlinger bei Nacht höher ist als im 10 cm — Niveau des Dolinengrundes. Die Temperatur der Quelle von LILLAFÜRED, aber besonders die Lufttemperatur der ISTVÁN-HÖHLE ist im Sommer wie im Winter ungefähr  $10^{\circ}\text{C}$ . Darum kann man annehmen, dass die Lufttemperatur der Höhlen im allgemeinen  $9\text{--}10^{\circ}\text{C}$  ist. Dies wird bestätigt auch vom FELDERÍTŐ-TEICH, der durch das Tröpfeln der ISTVÁN-HÖHLE genährt wird und dessen Temperatur  $9,6^{\circ}\text{C}$  ist. Wenn wir die Verbindung der Luft der Höhlen mit der Luftmasse des Wasserschlingers als richtig annehmen, so macht sich diese Wirkung vor allem geltend, wenn die Lufttemperatur im Wasserschlinger niedriger als  $9^{\circ}\text{C}$ , bzw. höher als  $10^{\circ}\text{C}$  ist. Im ersten Falle ermässigt sie die Abkühlung, im andern Falle die Erwärmung.

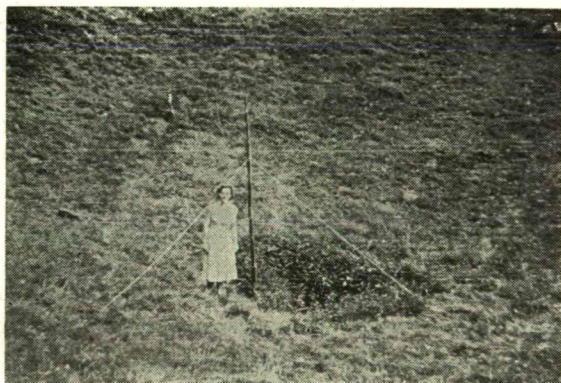


Bild 4. Mit dichtem Brennesselbestand umschlossener Wasserschlinger von Hosszúrét

Dagegen ist es fraglich, was für eine Wirkung die ein oder aussickernde Luft ausüben kann in denjenigen Wasserschlingern, in denen eine direkte Verbindung mit den inneren Höhlen visuell nicht zu entdecken ist. Die Existenz einer solcher Verbindung kann ja nicht geleugnet werden, da die Wasserschlinger eben dadurch entstanden sind, dass das Regenwasser an diesen Orten das Gestein aufgelöst und den Weg für den Ablauf des Wassers gesichert hat. Es ist auch sehr wahrscheinlich, dass wo das Wasser weiterfließen kann, findet sich auch die Luft einen Weg.

Die höhere Temperatur der Luftmasse im Wasserschlinger in heiteren, windstillen Nächten kann nicht nur durch eine Verbindung mit den inneren Höhlen erklärt werden. Der Wasserschlinger ist von einem Brennesselbestand umgeben. So kann man annehmen, dass es dieser Brennesselbestand ist, der das



Hinabgleiten der Luft in die Doline hindert. Gleichzeitig beschattet er beträchtlich den Wasserschlinger und hemmt so die Ausstrahlung desselben.

Bis der Brennesselbestand nicht ganz entwickelt ist, bildet er kein genug dickes Hindernis und so kann die Kaltluft in die Doline hinabsickern. In diesem Falle können dieselben Temperaturwerte wie am Dolinengrund, zufälligerweise auch tiefere Werte, beobachtet werden.

*Tabelle II.*  
in °C

	24.	25.	26.	27.	28.	29.
Im Wasserschlinger	-2,1	-2,3	-1,0	-0,1	-0,5	1,9
Am Dolinengrund	-2,0	-2,0	-0,5	0,5	-0,5	2,5

Im Mai 1954 stellten wir in der Doline von HOSSZURÉT Messungen mit Radiations-Minimumthermometern an. Die Ergebnisse sind in Tabelle II. zusammengefasst.

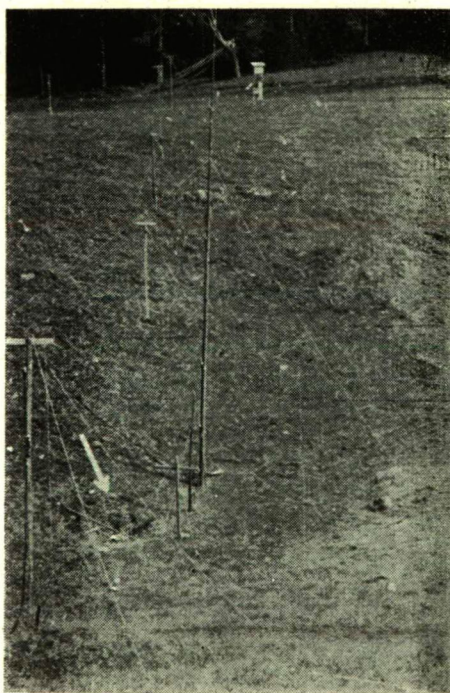


Bild. 5. Der auf dem Bild 4 dargestellte Wasserschlinger ohne Brennessel. Der Felsen im Wasserschlinger ist sichtbar.

TABELLE III.

Lufttemperaturminima in 5 cm (°C)

Hosszúrét, VIII. 1959.

	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.	21.	22.	23.
Wasserschlinger	4,5	6,0	4,6	8,5	5,2	12,5	13,0	10,2	8,5	5,2	3,0	2,4	2,0
Dolinengrund	4,4	5,7	4,3	8,1	4,9	12,2	12,6	10,0	8,2	4,7	2,5	2,0	1,5

	24.	25.	26.	27.	28.	29.	30.	31.
Wasserschlinger	2,4	4,2	6,5	5,3	—1,6	—0,4	—1,0	3,0
Dolinengrund	1,7	4,0	6,5	5,0	—3,5	—1,0	—2,5	1,0

Hosszúrét, VIII. 1960.

	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.	21.	22.	23.
Wasserschlinger	3,7	5,9	7,9	7,6	2,9	8,2	—0,3	2,9	8,1	1,7	—0,0	—0,5	3,1
Dolinengrund	2,1	4,3	7,1	6,8	2,1	6,6	—1,5	2,3	7,3	1,1	—0,7	—1,2	1,5

	24.	25.	26.	27.
Wasserschlinger	8,1	3,9	5,3	6,3
Dolinengrund	7,7	3,1	4,3	5,5

Középbérc, VII—VIII. 1960.

	30.	31.	1.	2.	3.	4.	5.
Wasserschlinger	1,9	2,3	3,6	5,2	2,4	6,8	1,1
Dolinengrund	1,3	—0,3	3,2	5,4	2,1	5,5	0,1

TABELLE IV.  
Lufttemperatur °C

		VII. 1960.				VIII. 1960.			
		29.	30.	31.	1.	2.	3.	4.	5.
Wasserschlinger	Max.	21,4	26,2	25,5	28,7	26,5	21,8	26,5	
	Min.		1,7	1,9	3,0	4,5	2,0	6,2	—0,6
	Δ		24,5	23,6	25,7	22,0	19,8	20,3	
Dolinengrund	Max.	20,5	25,9	27,2	30,2	28,9	24,6	24,0	
	Min.		0,8	0,9	2,4	3,6	0,9	6,2	—2,0
	Δ		25,1	26,3	27,8	25,3	23,7	17,8	

Im Sommer ermässigt der Schatten und die ausstrahlungshemmende und kaltluftthinableitungshemmende Wirkung des Brennesselbestandes die Temperaturminima des Wasserschlingers, und diese Werte sind höher als am Dolinengrund. Dieselbe Erscheinung sieht man auch in den Ergebnissen der im Juli

1954 ausgeführten Beobachtungen. Konsequenter höher war das Radiationsminimum bei unseren Beobachtungen im Wasserschlinger von HOSSZÚRÉT im Juni 1959 (11–13. August) und am 11–26. August 1960. (Siehe Tabelle III.) Im allgemeinen fanden wir den Wasserschlinger wärmer im Laufe unserer Beobachtungen zwischen dem 29. Juli und dem 5. August 1960 im KÖZÉPBÉRC. [Tabelle IV.]

Unsere Beobachtungen, die wir im Juli und August 1961 in den Dolinen von KURTABÉRC ausführten, scheinen diesen Tatsachen zu widersprechen. Das hier im Wasserschlinger angebrachte Radiationsthermometer zeigte nur in 4 Fällen von 28 eine höhere Temperatur als am Dolinengrund. Der Widerspruch ist der Tatsache zuzuschreiben, dass zwar der Wasserschlinger charakteristisch vertieft war, war er ganz von einem kompakten *NARDUS STRICTA* — Bestand bedeckt, wie der Dolinengrund. Also war der Wasserschlinger nicht aktiv; er war seit langem verstopft.

Auf Grund unserer Untersuchungsergebnisse von 1961 müssen wir als bewiesen betrachten, dass die Luft der felsigen Wasserschlinger, die keine kompakte Pflanzendecke haben und von einem Brennesselbestand umgeben sind, wärmer ist als die nahe dem Dolinengrund liegende Luftschicht in heiteren windstillen Nächten.

Unsere Beobachtungen im Juli 1954 beweisen unter anderem, dass sich die Luftschicht über dem Borstengras stärker abkühlt als über den anderen hier beheimateten Pflanzen. Da es in den Wasserschlängern keinen kompakten Borstengrasbestand gibt und am Grund der Dolinen dieser die vorherrschende Vegetation ist, kann die weniger starke Abkühlung des Wasserschlängers auf diese Tatsache zurückgeführt werden. Es ist aber fraglich, ob die Temperatur des Wasserschlängers wirklich in solchem Masse wie wir es finden von den oben genannten Faktoren geregelt wird. (Siehe Tabelle II–III.).

In den obigen Tabellen haben wir veranschaulicht, dass die Radiationstemperatur im Mai 1954 im Wasserschlinger tiefer war als am Dolinengrund. Offenbar kann dies nicht angenommen werden als ein Beweis dafür, dass der entscheidende Faktor darin der unentwickelte Zustand des Brennesselbestandes ist, weil die obere Schicht des Bodens im Mai vermutlich kälter ist als im Sommer oder im Herbst.

### **Der Einfluss der Bodentemperatur auf die Lufttemperatur des Wasserschlängers**

Da wir hofften, dass wir in der Doline am Ende September niedrige Temperaturwerte messen können, untersuchten wir im Laufe unserer Beobachtungen am Ende September 1955 mit einigen Radiationsthermometern die Lufttemperaturminima der Doline in 5 cm über dem Boden.

Am Dolinengrund schnitten wir aus dem *Nardus Stricta*-Bestand einen 35×20×15 cm dicken Rasenziegel aus und setzten diesen auf einen Fels am Grund des Wasserschlängers. In das Loch in der Stelle des ausgeschnittenen Rasenziegels stzten wir ein Radiationsminimumthermometer in 5 cm Höhe über der neuen Oberfläche. Ebenso wurden Radiationsthermometer auf den Rasenziegel im Wasserschlinger, neben diesen auf den Boden des Wasserschlängers (also 15 cm tiefer als im vorigen Falle), über die ursprüngliche Vegetation der Doline, an den Dolinenrand, in das *Nardetum* und auf die an Borstengras weniger reiche Bergwiese gesetzt. [Tabelle V.]



TABELLE V.  
Lufttemperaturminima °C

	IX.					X.		1.	2.
	24.	25.	26.	27.	28.	29.	30.		
Wasserschlingergrund	—0,4	—0,8	0,5	—3,3	—0,8	2,6	0,8	—5,3	—0,2
Wasserschlingerrasenziegel	0,0	—0,3	2,0	—2,7	—0,5	3,5	—1,0	—6,0	—3,3
Dolinengrund	—1,8	—2,1	0,2	—5,2	—1,8	3,5	—2,6	—10,4	—4,3
Dolinengrund an der Stelle des Rasenziegels	1,0	2,0	2,0	0,0	2,5	5,5	1,1	—2,7	0,0
Dolinenrand	—1,5	—1,5	0,2	—5,0	—1,8	3,4	—2,2	—7,5	—2,4
Nardetum	—0,8	—1,8	1,4	—4,4	—1,5	4,0	—2,5	—6,5	—3,2
Bergwiese	—0,6	—1,5	1,6	—3,8	—1,0	4,1	—2,1	—6,0	—2,9

Aus dem Beobachtungsmaterial von 9 Tagen geht eindeutig hervor, dass jedesmal der Dolinengrund am kältesten, und das ins Gras geschnittene Loch am wärmsten war. Zweimal war das Temperaturminimum auf dem Rasenziegel im Wasserschlinger kälter als die am Grund des Wasserschlingers liegende Luftschicht; dagegen war es über dem Borstengras um einige Zehntelgrad immer kälter als über der Bergwiese.

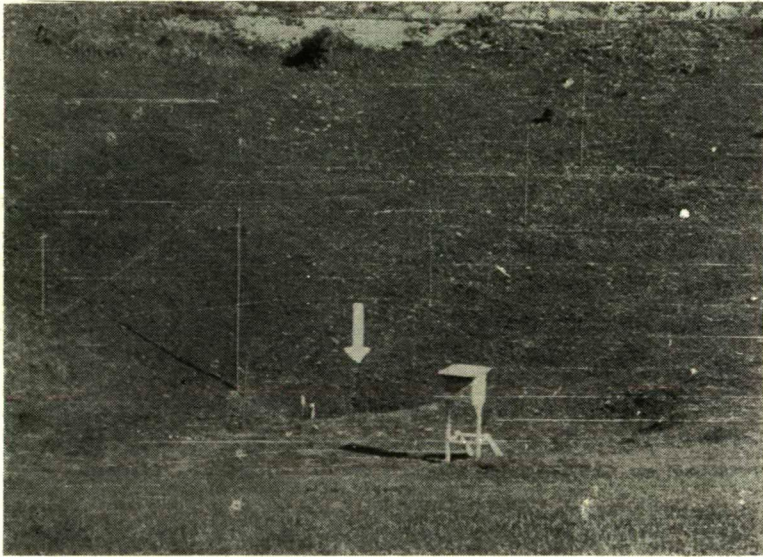


Bild 6. Der Hang südlicher Exposition der Doline von KÖZÉPBÉRC

Auf Grund dieser Beobachtungen scheint die Folgerung offenbar zu sein, dass die kleine Luftmasse des Wasserschlingers vor allem darum wärmer ist als die Luft der Doline, weil die Wände des Wasserschlingers bei Nacht verhältnismässig wärmer sind und in diesen kleinen Luftraum soviel Wärme abgeben, dass sie die dort befindliche Luftmasse ständig wärmen.

Wir hatten keine Gelegenheit, die Temperaturschwankungen des Dolinengrundes mindestens während der ganzen Vegetationsperiode zu beobachten. Wir können bloss einen Teil der Bodentemperaturwerte überblicken, die wir an demselben Ort im Mai, Juli, August, September und Oktober massen. Leider können wir diesbezügliche Angaben nicht einmal aus ein und demselben Jahr anführen, da wir im Mai 1955 in diesem Gebiet keine Beobachtungen anstellten.

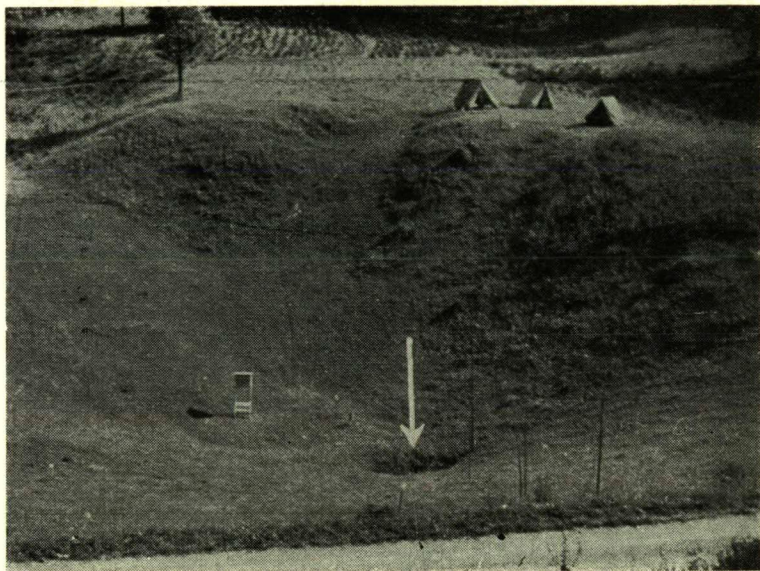


Bild 7. Der Hang nördlicher Exposition der Doline von KÖZÉPBÉRC

Doch haben wir auch so einen Anhaltspunkt dafür, dass der Wasserschlinger verhältnismässig wärmer ist. Es ist unzweifelhaft, dass der Boden im Nardetum im Juli und August wesentlich wärmer ist als im Mai und September. Wenn wir die Bodentemperaturminima in 10 cm Tiefe miteinander vergleichen, finden wir, dass die Werte im ersten Drittel vom Juli und August um  $4-5^{\circ}\text{C}$  höher sind als im Mai, bzw. am Ende September. In 5 cm Tiefe im Boden sind die Temperaturunterschiede noch grösser. Wenn wir die Messwerte vom Mai und September miteinander vergleichen, können wir feststellen, dass sich die obere Schicht des Bodens im Herbst in demselben Masse abkühlt, wie sie sich im Frühling erwärmt. Im ersten Teil der Beobachtungsperiode sind die Werte im September höher; im zweiten Teil sind sie niedriger als im Mai. Unsere Bodentemperaturmesswerte haben also unsere Hypothese nicht überzeugend bestätigt, dass die Lufttemperatur in den Wasserschlingern von der Bodentemperatur geregelt wäre. Das Beobachtungsmaterial ist zur endgültigen Entscheidung dieser Frage nicht geeignet, weil die Bodentemperaturmessungen nicht in der Wand des Wasserschlingers angestellt wurden. Doch müssen wir auf Grund unserer Beobachtungen im Mai und September–Oktober eindeutig darauf schliessen, dass in der Beobachtungsperiode im Herbst die unteren Bodenschichten wärmer waren als im Frühling. [Tabelle VI.]

TABELLE VI.

Bodentemperatur °C

		V. 1954.									
		20.	21.	22.	23.	24.	25.	26.	27.	28.	
5 cm	Max.	11,2	10,7	11,0	12,4	12,4	14,0	15,1	15,8	16,2	
	Min.	10,2	9,6	9,4	8,8	9,6	10,0	10,8	11,4	12,4	
	Δ	1,0	1,1	1,6	3,6	2,8	4,0	4,3	4,4	3,8	
10 cm	Max.	10,9	10,6	10,6	11,6	11,8	13,0	14,0	14,6	15,2	
	Min.	10,2	9,6	9,6	9,1	10,0	11,0	11,2	11,4	12,6	
	Δ	0,7	1,0	1,0	2,5	1,8	2,0	2,8	3,2	2,6	
30 cm	Max.	9,5	9,5	9,4	9,4	9,8	10,0	10,8	11,4	12,0	
	Min.	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4	9,6	10,0	10,8	11,4	
	Δ	0,1	0,1	0,0	0,0	0,4	0,4	0,8	0,6	0,6	

		VI. 1955.					VII. 1955.				
		28.	29.	30.	31.	1.	2.	3.	4.	5.	6.
5 cm	Max.	17,1	17,2	16,1	16,8	17,4	17,2	18,2	18,3	16,8	15,6
	Min.	15,2	14,7	14,9	15,0	15,6	15,6	15,8	16,1	15,6	14,9
	Δ	1,9	2,5	1,2	1,8	1,8	1,6	2,4	2,2	1,2	0,7
10 cm	Max.	16,5	16,5	15,7	16,2	16,7	16,6	17,2	17,5	16,6	15,8
	Min.	15,4	14,6	15,0	15,0	15,5	15,5	15,7	16,2	15,8	14,9
	Δ	1,1	1,9	0,7	1,2	1,2	1,1	1,5	1,3	0,8	0,9
20 cm	Max.	15,8	15,6	15,4	15,6	15,8	16,0	16,2	16,4	16,4	16,0
	Min.	15,6	15,2	15,2	15,1	15,3	15,7	15,8	16,0	16,0	15,2
	Δ	0,2	0,4	0,2	0,5	0,5	0,3	0,4	0,4	0,4	0,8

		VIII. 1955.									
		7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.
5 cm	Max.	17,0	16,6	15,4	14,6	14,1	15,5	16,3	16,6	16,3	17,2
	Min.	14,3	14,4	14,4	13,3	13,7	13,6	13,3	14,0	14,9	14,6
	Δ	2,7	2,2	1,0	1,3	0,4	1,9	3,0	2,6	1,4	2,6
10 cm	Max.	16,3	16,2	15,2	14,5	14,1	15,1	15,6	16,1	16,2	16,7
	Min.	14,6	14,6	14,5	13,6	13,7	13,5	13,5	14,2	14,8	14,7
	Δ	1,7	1,6	0,7	0,9	0,4	1,6	2,1	1,9	1,4	2,0
20 cm	Max.	15,5	15,6	15,4	15,0	14,4	14,6	14,8	15,2	15,4	15,5
	Min.	15,0	15,2	15,0	14,4	14,2	14,0	14,3	14,7	15,1	15,0
	Δ	0,5	0,4	0,4	0,6	0,2	0,6	0,5	0,5	0,3	0,5



		IX. 1955.						X. 1955.		
		23.	24.	25.	26.	27.	28.	29.	30.	1.
5 cm	Max.	12,6	12,0	12,0	12,2	11,4	10,8	10,8	10,4	9,7
	Min.	9,4	8,4	9,5	9,6	8,4	9,0	9,2	8,3	7,0
	$\Delta$	3,2	3,6	2,5	2,6	3,0	1,8	1,6	2,1	2,7
10 cm	Max.	12,0	11,8	11,8	12,0	11,2	10,8	10,9	10,4	9,6
	Min.	10,0	10,0	10,2	10,2	9,2	9,8	9,7	8,9	7,8
	$\Delta$	2,0	1,8	1,6	1,8	2,0	1,0	1,2	1,5	1,8
20 cm	Max.	11,4	11,4	11,5	11,4	11,2	10,9	10,7	10,4	10,0
	Min.	11,1	11,1	11,1	11,2	10,8	10,7	10,4	10,0	9,4
	$\Delta$	0,3	0,3	0,4	0,2	0,4	0,2	0,3	0,4	0,6

### Der Tagesgang der Lufttemperatur des Wasserschlingers

Wir müssen nun die Lufttemperatur im Wasserschlinger untersuchen. Die Radiatonsthermometer zeigen — mit mehreren Fehlern — bloss den Wert des Temperaturminimums. Die Aufstellung der Radiatonsthermometer ist in den engen Wasserschlingern besonders schwer, und die Möglichkeit der Ablesung muss auch gesichert werden. Mehrere Male führten wir in den Wasserschlingern mit elektrischen Widerstandsthermometern Beobachtungen mehrere Tage hindurch aus. Wie immer, stellten wir die Beobachtungen auch jetzt jede 15 Minuten an. Das Thermometer wurde in der Mitte des Wasserschlingers so aufgehängt, dass es 10 cm hoch über dem Boden des Wasserschlingers war.

Bei der Untersuchung des Mikroklimas der Doline von KÖZÉPBÉRC breiteten wir unsere Aufmerksamkeit auch auf den Wasserschlinger aus. Die Beobachtungen wurden von 14 Uhr 29. Juli 1960 ab bis 8 Uhr 5. August durchgeführt. Die Nächte waren heiter bzw., wolkenlos. Jede Nacht konnten wir auch Nebel beobachten. [Tabelle VII.]

TABELLE VII.

		Lufttemperatur °C								Kőzépberc
		VII. 1960.				VIII. 1960.				
		29.	30.	31.	1.	2.	3.	4.	5.	
Wasser- schlinger	Max.	21,4	26,2	25,5	28,7	26,5	21,8	26,5		
	Min.		1,7	1,9	3,0	4,5	2,0	6,2	—0,6	
	$\Delta$		24,5	23,6	25,7	22,0	19,8	20,3		
Dolinen- grund	Max.	20,5	25,9	27,2	30,2	28,9	24,6	24,0		
	Min.		0,8	0,9	2,4	3,6	0,9	6,2	—2,0	
	$\Delta$		25,1	26,3	27,8	25,3	23,7	17,8		

Auf Grund einer Reihe von Angaben können wir feststellen, dass die Lufttemperatur im Wasserschlinger bei Nacht höher war als in der Luftschicht nahe dem Dolinengrund. Die tiefste Temperatur konnte gewöhnlich in 10 cm Höhe über dem Dolinengrund beobachtet werden; darüber war die Luft graduell wärmer. Vor Sonnenuntergang ist die Luft im Wasserschlinger noch kühler, danach ist der Wasserschlinger in heiteren Nächten infolge der raschen Abkühlung bis Sonnenaufgang um  $1^{\circ}\text{C}$  wärmer, aber die in 10 cm über dem Dolinengrund bzw. über dem Wasserschlinger angebrachten Thermometer zeigten manchmal einen Temperaturunterschied von mehr als  $2^{\circ}\text{C}$ .

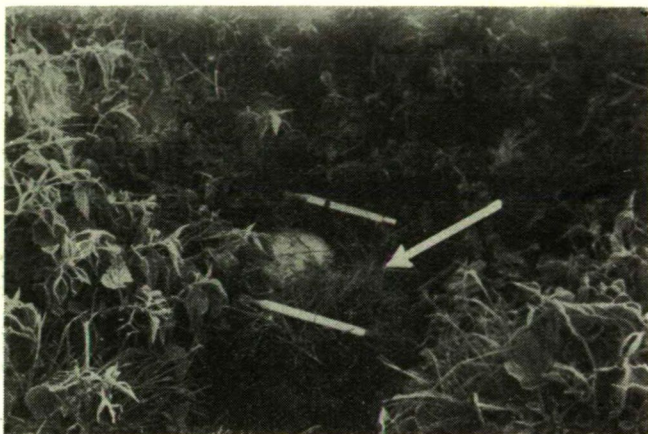


Bild 8. Die Minimumthermometer aufgestellt auf einem Rasenziegel im Wasserschlinger und auf dem Grund des Wasserschlingers

Nach Sonnenaufgang steigt die Lufttemperatur am Dolinengrund sehr rasch, im Wasserschlinger langsam. Als eine Folge davon, wird der Temperaturunterschied immer grösser und wird ganz beträchtlich. So war zum Beispiel am 30. Juli die Lufttemperatur am Dolinengrund um  $0,3^{\circ}\text{C}$  wärmer; um  $6^{\text{h}}45'$  war der Unterschied bereits  $10^{\circ}\text{C}$  und um  $8^{\text{h}}30^{\text{m}}$   $12,2^{\circ}\text{C}$ . Am 1. August war der Unterschied um 7 Uhr  $14,2^{\circ}\text{C}$ , am 2. um 7 Uhr  $14,7^{\circ}\text{C}$ , am 5. um 7 Uhr  $13,6^{\circ}\text{C}$ . Danach erwärmt sich die Luftschicht des Dolinengrundes in geringerem Masse, die Luft des Wasserschlingers erwärmt sich rascher weiter, so dass es Zeiten gibt, wenn es im Wasserschlinger wärmer ist. Das war die Lage zum Beispiel am 30. August um  $10^{\text{h}}45^{\text{m}}$ , von  $11^{\text{h}}45^{\text{m}}$ , bis 13 Uhr; am 31. um  $11^{\text{h}}45^{\text{m}}$ ; am 1. August von  $10^{\text{h}}15^{\text{m}}$  bis  $10^{\text{h}}45^{\text{m}}$ , von  $11^{\text{h}}15^{\text{m}}$  bis  $11^{\text{h}}45^{\text{m}}$ , um  $12^{\text{h}}15^{\text{m}}$ ; am 2. August zwischen  $12^{\text{h}}$  und  $12^{\text{h}}30^{\text{m}}$ ; am 4. zwischen  $10^{\text{h}}45^{\text{m}}$  und  $12^{\text{h}}45^{\text{m}}$ . Bei vorwiegend wolkigem Wetter (am 3. Aug.) erfolgte dies nicht. Der Wasserschlinger erwärmt sich also intensiver, wenn bei hohem Sonnenstand die Sonnenstrahlen direkt in den Luftraum des Wasserschlingers eindringen können.

Ein ähnliches Bild ergibt sich aus unserem Beobachtungsmaterial von 1953 in Bezug auf den Wasserschlinger der Doline von Hosszúrét. In jedem Jahr begannen wir unsere Beobachtungen am 22. Mai. Ausser dem im Wasserschlinger



ger angebrachten elektrischen Widerstandsthermometer stellten ein anderes 100 cm hoch über dem Boden im 3 m-Niveau vom Dolinengrund gerechnet auf dem E-Hang der Doline auf. Das zweite Thermometer war also nicht über dem Dolinengrund; daher sind seine Angaben von den oben angeführten Angaben der Doline von KÖZÉPBÉRC etwas verschieden. Auch andere Unterschiede können festgestellt werden, die aus den Beobachtungen aus verschiedenen Zeiten natürlich folgen. Wie es die Abb. 9. zeigt, wird der Gang der Lufttemperatur im Wasserschlinger bei Tag auch hier vom direkten Einfall der Sonnenstrahlen bestimmt. Bei Nacht ist die Lufttemperatur in der Doline niedriger, wie wir es in der Doline von KÖZÉPBÉRC in 1960 erfahren konnten.

Im Laufe unserer Beobachtungsserie in der Doline von HOSSZÚBÉRC in 1960 können wir im Gang der Erwärmung und der Abkühlung ganz andere Verhältnisse erkennen. Unsere Beobachtungen in dieser Doline begannen um 9 Uhr am 8. Aug. und endeten um 8 Uhr am 24. Während dieser Zeit konnten wir eine 24 Stunden dauernde ganz heitere Periode nur einmal beobachten. Es kamen mehr heitere Nächte als heitere Tage vor, aber auf die heiteren Nächte folgten keine heiteren Tage und umgekehrt. In heiteren, windstillen Nächten fanden wir gewöhnlich niederere Temperaturen im Wasserschlinger als am Dolinengrund; über diesem letzteren war die Temperatur in 150, 300, 600 und 900 cm Höhe gewöhnlich graduell höher. Dieser Wärmezustand konnte höchstens vom dichten, seichten Bodennebel gestört werden.

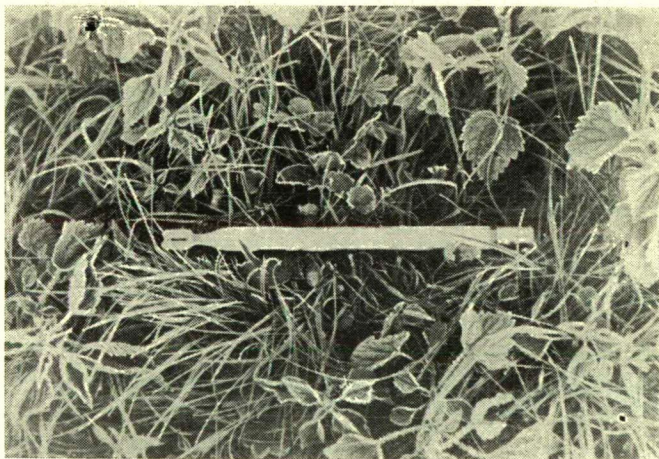


Bild 9. Bereiftes Minimumthermometer auf dem Grund der Doline.

Während der sonnigen Stunden ist es im Wasserschlinger wärmer; die Luft ist kühler dort nur solange der Wasserschlinger sich selbst beschattet. So war z. B. der Dolinengrund am 17. von 7<sup>h</sup>15<sup>m</sup> ab wärmer als die darüberliegenden Luftschichte; der Wasserschlinger selbst ist bis 7<sup>h</sup>45<sup>m</sup> kühler. Danach ist die Temperatur im Wasserschlinger am höchsten. Dieselbe Erscheinung konnten wir am vorwiegend heiteren Vormittag des 18. beobachten.

TABELLE VIII.

Radiationstemperaturminima in einer Doline von Nagymező

Tag	Nachtwetter	Wasserschlinger —1,75 m	Dolinengrund 0 m	Dolinengrund S-Richtung 2,30 m	Dolinengrund Fels nach S 5,00 m	Dolinenseite nach S 9,00 m	Dolinenseite nach N 2,00 m	Dolinenseite Fels nach N 4,70 m	Dolinenseite nach N 11,40 m
1959. VIII. 27.	klar D	5,0	3,3	3,4	4,3	5,0	4,4	5,4	6,6
28.	klar L <sup>2</sup>	—1,5	—5,4	—4,8	—3,4	—2,0	—5,0	—4,2	—0,6
29.	klar L	—0,6	—3,8	—3,0	—2,2	—0,2	—2,8	—2,4	0,0
31.	klar bzw. D L	1,6	—1,3	—1,0	0,0	1,0	—0,2	0,5	1,2

Im August 1960 führten wir Lufttemperaturmessungen am Dolinengrund und im Wasserschlinger während 16 Tage durch. Als wir die Angaben der Widerstandsthermometer untersuchten, fanden wir, dass die Temperaturminima an 15 Tagen im Wasserschlinger um einige Grade niedriger waren. Die Radiationsminimumthermometer dagegen zeigten, dass es am Dolinengrund kälter war und der Unterschied im Verhältnis zum Wasserschlinger mehr als 1° betrug. Die Divergenz der Angaben der Thermometer zweierlei Art kann nicht dadurch erklärt werden, dass das Radiationsthermometer 5 cm tiefer angebracht war, sondern dass die Wärmestrahlung der Wände des Wasserschlingers auf diese Thermometer stärker wirkte als auf die gut geschirmten Widerstandsthermometer. Auf Grund dieser Tatsachen kann man aber wohl annehmen, dass die Luft im Wasserschlinger von dem den Wasserschlinger bildenden Gestein und Boden erwärmt wird.

Zwar hatten wir nicht die Möglichkeit, eine Doline des NAGYMEZŐ, wo Zólyomi und Bacsó schon in 1934 Beobachtungen angestellt hatten, unter ständiger Beobachtung zu halten, errichteten wir hier Minimumthermometer. Die Angaben dieser sind in Tabelle VIII. zusammengefasst. Die Unterschiede der Temperaturminima am Dolinengrund und im Wasserschlinger sind beträchtlich. Hier war der Wasserschlinger gewiss wärmer als der untere Teil der Doline; das beweist nicht nur der Brennesselbestand sondern auch die Tiefe des Wasserschlingers.

## Zusammenfassung

Die Erwärmung der Doline hängt von der Exposition ihrer Seitenwände ab. Im untersuchten Gebiet war die Erwärmung auf der der Exposition entsprechenden Seite grösser. Die Tatsache, dass solange der Dolinengrund Sonnenstrahlung bekommt, das Temperaturmaximum dort gefunden werden kann, ist mit der Windgeschütztheit des Dolinengrundes in Zusammenhang.

Die Beschattung der Süd- und der Westwand der Doline ruft grosse Temperaturunterschiede innerhalb der Doline hervor.

Nach der Beschattung des Dolinengrundes beginnt die Bildung des Kaltluftteiches.

Man kann feststellen, dass der kalte Luftteich der Doline vom Nachtwetter abhängig ist. Die hier entstandenen Luftteiche können in zwei Gruppen geteilt werden.

A) Es bildet sich ein Kaltluftteich in klaren, windstillen Nächten, mit Tau oder Reif. Die Anhäufung der Kaltluft erfolgt am Dolinengrund, und die niederste Temperatur kann hier gemessen werden.

B) Ein kalter Luftteich bildet sich bei heiterer, windstiller Nacht mit dickem Bodennebel, der sich in der Doline bildet. Die kältesten Luftmassen häufen sich auf den südlichen Hängen der Doline an; am Dolinengrund nehmen etwas mildere Luftmassen Platz.

Bei heiterer, windstiller Nacht bildet sich ein kalter Luftteich auch wenn es mittlerweile längere oder kürzere Zeit in der Doline Bodennebel gibt.

Auf Grund unserer Untersuchungen können wir feststellen, dass der Wasserschlinger auch hinsichtlich der Mikroklimaverhältnisse Teil der Doline ist. Es kann nicht geleugnet werden, dass der Wasserschlinger auch mit Luftgängen, vermutlich mit den darunter befindlichen Höhlen in Verbindung steht, aber diese Verbindung ist nicht eine aktive. Die Temperatur der Luft im Wasserschlinger wird in grossem Masse von der Sonnenstrahlung bestimmt, aber auch die Temperatur der Wände des Wasserschlingers spielt immer eine Rolle darin. Der Schatten des Brennesselbestandes, der den Wasserschlinger umgibt, begünstigt die Temperaturregelnde Rolle der Wände des Wasserschlingers. Der Wasserschlinger selbst hat keinen merklichen Einfluss auf die Erwärmung und Abkühlung der Doline.

Zur Erkennung der eigenartigen Mikroklimaverhältnisse der Dolinen des BÜKKGEBIRGES ist das hier gegebene Material nicht genügend. Wir hoffen doch einen Anhaltspunkt gegeben zu haben für den täglichen Temperaturgang einer Doline des Bükkgebirges, für die Entstehung der kalten Luftteiche, für die wichtigsten Expositionswirkungen und für die Eigenheiten der Temperatur des Wasserschlingers.

## LITERATUR

- BACSÓ, N.—ZÓLYOMI, B.: Mikroklima és növényzet a Bükkfennsíkon, Az Időjárás. 1934.  
GEIGER, R.: Das Klima der bodennahen Luftschicht. Braunschweig. 1960.  
SZABÓ, Gy.: Angaben zum Mikroklima der Höhlen bei Lillafüred. Acta Climatologica. Tom. II. III. 1962.  
WAGNER, R.: Fluktuáció töbörköd. Időjárás. 1954.  
WAGNER, R.: A mikroklimák elrendeződése Hosszúbércen OMI Beszámoló. 1955.